

Alternativas de manejo de síntomas de saturación de N en bosques de *Abies pinsapo* Boiss. Respuesta a la fertilización compensatoria con fósforo

M.C. Blanes ¹

(1) Área de Ecología. Dpto. de Biología Animal, Vegetal y Ecología. Facultad de Ciencias Experimentales. Universidad de Jaén. Campus Las Lagunillas Edif. B-3, E-23071 Jaén, España

➤ Recibido el 18 de enero de 2011, aceptado el 8 de febrero de 2011.

Blanes, M.C. (2011). Alternativas de manejo de síntomas de saturación de N en bosques de *Abies pinsapo* Boiss. Respuesta a la fertilización compensatoria con fósforo. *Ecosistemas* 20(2-3):91-94.

La deposición atmosférica de N está modificando los ciclos de nutrientes de los ecosistemas forestales en las áreas más industrializadas del mundo. La denominada *Hipótesis de Saturación* de N trata de explicar el conjunto de cambios que se producen en diversos procesos del ecosistema, en respuesta a las entradas crónicas de N asociadas al incremento de la deposición atmosférica, y cómo dichos cambios pueden derivar, a medio y largo plazo, en síntomas de declive, especialmente en ecosistemas forestales. Aunque los síntomas de saturación de N están bien descritos (Aber et al, 1998), existe controversia respecto al mecanismo implicado en la respuesta de umbral que se produce desde el estado de limitación al de saturación de N.

Trabajos previos sobre los bosques de *Abies pinsapo* en la península Ibérica prueban la existencia de un gradiente de deposición atmosférica de N, siendo el polígono industrial del Campo de Gibraltar el origen más probable de las emisiones de contaminantes atmosféricos. Así, el pinsapar de Sierra Bermeja, el más próximo al Campo de Gibraltar, presenta un grado moderado de saturación de N (**Fig. 1**), a diferencia de los pinsapares de Yunquera y de Sierra Real, situados a una mayor distancia de dicho foco y con síntomas de limitación por N (Salido 2007). En paralelo a los síntomas de saturación de N, en el pinsapar de Sierra Bermeja también se observaron evidencias de un estado de limitación por P (Liétor 2002) que nos llevaron a formular las siguientes hipótesis:

- a) La aparición de una limitación por P habría actuado como un umbral que disparó la aparición de síntomas de saturación de N en el pinsapar de Sierra Bermeja.
- b) En consecuencia, la atenuación o eliminación del estado de limitación por P mediante fertilización deberían traducirse en un alivio de los síntomas de saturación de N y en una mejora del estado de los árboles.



Figura 1. Pinsapar de los Reales de Sierra Bermeja, situada al N de la localidad de Estepona (Málaga). Relativamente altas tasas de deposición atmosférica de N se traducen, especialmente en las zonas elevadas, en defoliación y dosel aclarado (a). Este pinsapar, con síntomas de saturación de N, crece sobre suelos desarrollados sobre sustratos serpentínicos (b).

Para testar dichas hipótesis, se han seguido dos aproximaciones experimentales complementarias. Por un lado, se llevó a cabo un experimento de tipo mensurativo, con la comparación de distintos pinsapares situados a distancias crecientes del foco contaminante a lo largo de un gradiente geográfico de deposición atmosférica de N. Por otro lado, se efectuaron experimentos manipulativos en campo sobre parcelas situadas en los dos extremos del gradiente altitudinal de distribución del pinsapar de Sierra Bermeja, afectado por el síndrome de saturación de N. Tales experimentos consistieron en la fertilización compensatoria con P, y el marcaje del suelo con ^{15}N , con un tratamiento de exclusión de raíces.

Variabilidad en bosques de *Abies pinsapo* a lo largo de un gradiente de deposición de N

Los resultados de la aproximación manipulativa indican que, efectivamente, existe una clara correspondencia entre la variabilidad observada en las tasas de transformación y reservas del N, y la relativa al ciclo biogeoquímico del P. Indicadores de la existencia de saturación de N en el pinsapar de Sierra Bermeja, como un exceso de disponibilidad de N y elevadas tasas de mineralización del N y de nitrificación, coinciden con indicios de limitación por P, tanto relativos a procesos en el suelo como a la fisiología de los árboles (**Tabla 1**). Así, por ejemplo, en este pinsapar se observaron mayores tasas de actividad fosfatasa, crecimiento selectivo de raíces finas en micrositios fertilizados con P, incremento de la relación N/P foliar, un aumento en el contenido de aminoácidos en las acículas y un aumento en la eficiencia fotosintética en el uso del P. Estos resultados son consistentes con los de un número creciente de estudios efectuados en gradientes geográficos de deposición de N y que encontraron síntomas de limitación por P en ecosistemas saturados por N (Mohren et al. 1986; Gress et al. 2007). El mismo tipo de correspondencias N/P se ha observado también en experimentos manipulativos de adición de N (Carreira et al. 2000; Treseder y Vitousek 2001). Sin embargo, no se han encontrado diferencias entre pinsapares a nivel del transcriptoma en relación al metabolismo del N, lo que sugiere que *Abies pinsapo* tiene una capacidad muy limitada para modular su expresión génica en respuesta al estrés que representa el exceso de N en el ecosistema.

	Y	SR	BP	B
Concentración de N-NH_4^+ en el suelo	76.2 a	68.6 a	100.0 a	88.6 a
Concentración de N-NO_3^- en el suelo	31.8 a	23.2 a	95.1 b	100.0 b
Mineralización neta del N	47.8 ab	43.3 a	100.0 c	88.9 bc
Nitrificación neta	48.2 ab	42.6 a	100.0 c	89.6 bc
Concentración P inorgánico extraído con bicarbonato	100.0 d	41.6 c	25.7 b	17.5 a
Actividad fosfatasa en raíces de pinsapo	35.6 a	41.5 a	100.0 b	93.2 b
Crecimiento raíces en micrositos fertilizados con P	18.0 a	8.1 a	-	100.0 b
Eficiencia fotosintética en el uso del P	79.1 a	64.8 a	-	100.0 b

Tabla 1. Indicadores de saturación de N y de limitación por P a lo largo del gradiente de deposición de N en bosques de *Abies pinsapo*. Los datos están expresados en una escala relativa que considera el mayor valor en cada caso como el 100%. Las referencias de las zonas de estudio son: Sierra de las Nieves (Y), Sierra Real (SR), Sierra Bermeja, a 1200m (BP) y a 1400m (B) de altitud. Letras distintas junto a las cifras de cada fila indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

Efectos de la fertilización compensatoria con P en pinsapares con saturación de N

Con el experimento manipulativo, se perseguía probar directamente la segunda de las hipótesis generales planteadas. Los resultados indican que los tratamientos de fertilización compensatoria con P incrementaron la disponibilidad de P en el suelo y redujeron las relaciones N/P y C/P en las acículas de los árboles. La fertilización con P ha mejorado el balance nutricional de *Abies pinsapo* en Sierra Bermeja, incrementando el crecimiento de los árboles y produciendo un consumo extra de las reservas de carbono, confirmando la existencia previa de una limitación de P. Además, en las parcelas fertilizadas con P, el porcentaje de ^{15}N añadido cuya retención es atribuible a su absorción por las raíces de los árboles fue similar al atribuible a mecanismos de inmovilización microbiana en el suelo (**Fig. 2**). Por el contrario, si la limitación por P de los árboles no había sido aliviada (parcelas no fertilizadas), el suelo fue con diferencia el mayor sumidero del N añadido (además de que la eficiencia de retención total fue menor), indicando que la reducción de la limitación por P hace más competitivos a los árboles frente a los microorganismos por el N.

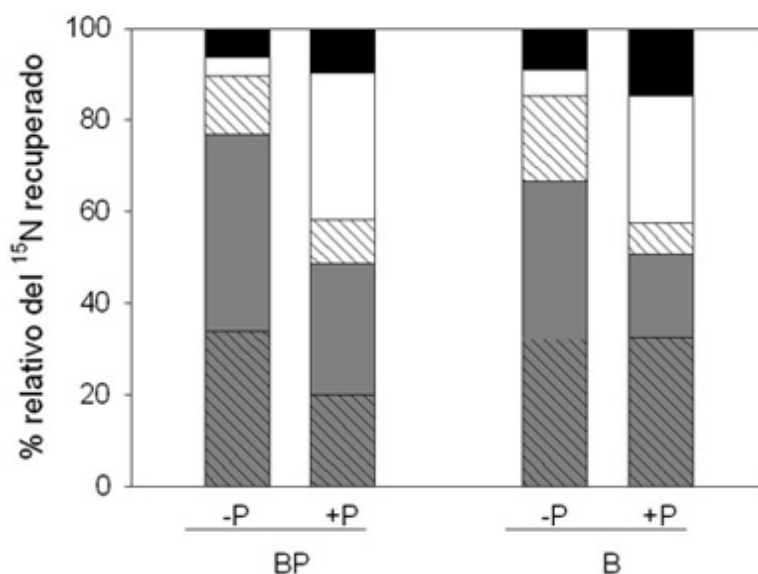


Figura 2. Porcentaje relativo de ^{15}N recuperado, cinco meses después del marcaje, en distintos compartimentos del ecosistema (hojarasca, suelo y raíces) en las parcelas no fertilizadas (-P) y fertilizadas (+P), situadas a 1200m (BP) y a 1400m (B) de altitud. Leyenda de compartimentos: hojarasca, bloques negros de las barras; raíces (0-5 cm de profundidad), en blanco; raíces (5-15 cm) en blanco con rayado de líneas diagonales; suelo (0-5 cm de profundidad), en gris; suelo (5-15 cm), en gris con rayado de líneas diagonales.

Conclusiones

Los efectos observados de mejora del estado de limitación por P, y de aumento de la carga crítica de N, en respuesta a tratamientos de fertilización con P en el bosque de Sierra Bermeja, indica que este tipo de tratamientos de fertilización compensatoria representa una opción de manejo para la gestión de ecosistemas forestales saturados por N en ambientes Mediterráneos. Considerando los bosques de *Abies pinsapo* como un caso modelo de bosque de coníferas templado que actualmente está sometido a un clima más cálido y estacional, nuestros resultados son relevantes en términos de la predicción de los efectos de la deposición atmosférica sobre el ciclo del N en bosque templados, y su manejo, en un escenario de calentamiento climático.

Referencias

- Aber J., McDowell W., Nadelhoffer K., Alison M., Berntson G., Kamakea M., McNulty S., Currie W., Rustad L., Fernandez I. 1998. Nitrogen saturation in temperate forest ecosystems. *BioScience* 48:921-934.
- Carreira J.A., García-Ruiz R., Liétor J., Harrison A.F. 2000. Changes in soil phosphatase activity and P transformation rates induced by application of N- and S-containing acid-mist to a forest canopy. *Soil Biology and Biochemistry* 32:1857-1865.
- Gress S.E., Nichols T.D., Northcraft C.C., Peterjohn W.T. 2007. Nutrient limitation in soils exhibiting differing nitrogen availabilities: What lies beyond nitrogen saturation? *Ecology* 88:119-130.
- Liétor J. 2002. *Patrones de disponibilidad y limitación por nutrientes como indicadores de estado en masas de pinsapar (Abies pinsapo Boiss.)*. Tesis doctoral. Universidad de Jaén, España.
- Mohren G., Van Den Burg J., Burger F. 1986. Phosphorus deficiency induced by nitrogen input in Douglas fir in the Netherlands. *Plant and Soil* 95:191-200.
- Salido M.T. 2007. *Evaluación del estado de saturación de N en masas de pinsapar (Abies pinsapo Boiss.) del sur de la Península Ibérica: patrones generales de entrada, circulación interna y salida del nitrógeno en el ecosistema*. Tesis doctoral. Universidad de Jaén, España.
- Treseder K.K., Vitousek P.M. 2001. Effects of soil nutrient availability on investment in acquisition of N and P in Hawaiian rain forests. *Ecology* 82:946-954.

M. CARMEN BLANES

Alternativas de manejo de síntomas de saturación de N en bosques de *Abies pinsapo* Boiss. Respuesta a la fertilización compensatoria con fósforo.

Tesis doctoral

Área de Ecología, Departamento de Biología Animal, Biología Vegetal y Ecología, Universidad de Jaén.

Junio 2010

Dirección: José A. Carreira y Benjamín Viñegla